

文章编号: 1001-6791(2001)04-0499-05

基于雨洪预报信息的防洪决策风险分析方法研究^{*}

黄振平¹, 沈福新², 朱元牲¹, 王道席¹

(1. 河海大学, 江苏 南京 210098; 2. 水利部南京水文水资源研究所, 江苏 南京 210024)

摘要: 研究了基于洪水预报信息的防洪决策风险分析方法, 对长江三峡至螺山河段的防洪系统是否启用分蓄洪区的各种防洪决策方案, 给出了决策风险的定量描述。

关 键 词: 防洪决策; 风险分析; 决策风险

中图分类号: P 333.2 **文献标识码:** A

防洪决策是一个实时决策。对作出如分洪或开堤行洪那样的重大决策, 从作出决策到实施决策, 需要一段时间。为了有较长的实施决策准备时间, 常需根据洪水预报来作决策。显然预报时效愈长, 防抗洪准备就愈充分。然而, 预见期愈长, 预报精度愈低, 根据预报作出的各种防洪决策的失误机率也愈大。

防洪决策正确与否受到多种因素的影响。例如水文资料的可靠性, 预报模型的精度, 工情变化状况以及决策人员的经验等, 因此, 决策失误的概率是多变量的函数, 本文只讨论根据洪水预报作出防洪决策的风险评估方法问题, 文中以长江三峡至螺山河段防洪系统是否启用和何时启用分蓄洪区的决策为例, 探讨了有预报条件下, 防洪决策风险评估方法。讨论中, 以长江干流控制站沙市、城陵矶的水位是否超过分洪控制水位作为判别条件, 当水位超过分洪控制水位时, 作出启用分蓄洪区的决策, 反之, 则作出不启用分蓄洪区的决策。

1 基于短期洪水预报信息的防洪决策风险分析

1.1 两类决策风险

根据短期洪水预报作出的防洪决策, 是指当预报未来某时段内最高洪水位超过分洪控制水位时, 即作出需分洪的抉择, 否则作不分洪的抉择。

决策失误的风险可分两类: 一类是在未来 D 时段内, 预报的最高洪水位不超过分洪控制水位, 但实际最高水位超过分洪控制水位(用 A 表示), 因而作出 D 时段内不分洪的错误决策。这类决策风险称为第一类风险, 记为 $P(A)$, 即

$$P(A) = P(H_D \geq Z_f / \hat{H}_D < Z_f) \quad (1)$$

^{*} 收稿日期: 2000-11-28; 修订日期: 2001-07-30

作者简介: 黄振平 (1949 -), 男, 江苏南通人, 河海大学水环院副教授, 硕士, 主要从事工程水文和随机水文学研究。

式中 H_D 、 $\hat{H}_D$ 分别为从现在起, 未来 D 时段内实际最高水位和预报最高水位; Z_f 为分洪控制水位。

另一类风险则是作出分洪决策时出现失误的风险, 称为第二类风险。这类风险又可分为两种, 一种是在未来 D 时段内的预报最高水位超过分洪控制水位, 而实际最高水位不超过分洪水位(用 B_1 表示), 因而发生作出分洪决策的错误。

$$P(B_1) = P(H_D < Z_f, \hat{H}_D \geq Z_f) \quad (2)$$

另一种风险是根据预报, 未来某时刻 t 后的某时段 D 内, 最高洪水将超过分洪水位, 从而作出 t 时刻以后分洪的决策, 但实际上, t 时刻以前洪水就已超过分洪水位, 这种决策风险用 $P(B_2)$ 表示。

$$P(B_2) = P(H_{t+D} \geq Z_f, \hat{H}_{t+D} < Z_f, \hat{H}_{t+D} \geq Z_f) \quad (3)$$

式中 $t - T$ 表示未来 t 时刻以前的 T 时段; $t + D$ 表示未来某时刻 t 以后的 D 时段。

1.2 风险分析的基本途径

根据洪水预报作出分洪与否的决策, 一般都有风险, 因为预报总是有误差的, 预报误差 ΔH 是一个随机变量, 设其取值为 y , 分布密度为 $f(y)$ 。

设时刻 t 的水位为 $Z_{d,t+D}$ 时段内的最高水位的预报值为 $\hat{H}_{t+D}$, 若 $\hat{H}_{t+D}$ 小于分洪控制水位 Z_f , 则由概率论基本原理可知, 根据此预报作出不分洪抉择的决策失误概率为:

$$P(H_{t+D} \geq Z_f, \hat{H}_{t+D} < Z_f) = P(\Delta H > Z_f - \hat{H}_{t+D}, \hat{H}_{t+D} < Z_f) = \int_{\hat{H}_{t+D}}^{\infty} f(y) dy \quad (4)$$

同理, 预报值超过分洪控制水位, 而实际最高水位小于 Z_f 的概率为

$$P(H_{t+D} < Z_f, \hat{H}_{t+D} \geq Z_f) = P(\Delta H < Z_f - \hat{H}_{t+D}, \hat{H}_{t+D} \geq Z_f) = \int_{-\infty}^{Z_f - \hat{H}_{t+D}} f(y) dy \quad (5)$$

所以, 只要求出预报值误差的分布密度 $f(y)$, 即可根据式(4)、式(5)分别求出两类风险。由于洪水预报误差很复杂, 目前还无法通过理论解析途径导出这个分布。本次研究先借助统计试验技术, 通过随机模拟和洪水演算方法, 求出控制站水位过程作为实际水位系列, 再根据水位预报模型, 求得预报的水位系列, 最后统计出误差的分布。以此途径解决实际资料短缺的问题。

1.3 防洪决策风险的定量分析

(1) 水位预报模型的建立 洪水位预报模型很多, 本文采用的是:

沙市站采用 $AR(P)$ 模型:

$$\hat{X}_t = \Phi_{p,0} + \Phi_{p,1} X_{t-1} + \Phi_{p,2} X_{t-2} + \cdots + \Phi_{p,p} X_{t-p} + \eta_t \quad (6)$$

式中 $\hat{X}_t$ 为沙市 t 时的预报水位; X_{t-i} 为沙市 $t-i$ 时的实际水位; $\Phi_{p,i}$ 为自回归系数; P 为阶数; η_t 为噪声。用赤池的最终预报误差准则 (FPE) 定阶^[1], 用递推法求系数。

城陵矶站位于沙市的下游, 采用如下模型:

$$\hat{y}_t = C_0 + \sum_{i=1}^p a_i x_{t-i} + \sum_{j=1}^q b_j y_{t-j} + \varepsilon_t \quad (7)$$

式中 $\hat{y}_t$ 为城陵矶 t 时的预报水位; x_{t-i} 为沙市 $t-i$ 时的实测水位; y_{t-j} 为城陵矶 $t-j$ 时实测水位; p, q 为模型阶数; C_0, a_i, b_j 为回归系数; ε_t 为白噪声。采用优选法定阶, 最小二乘

法估计模型系数。

经检定, 以上二模型还是比较符合实际的, 有关此类模型适用的论证的详细内容可参阅参考文献^[1,2]。

(2) 连续瞬时水位的推求 由于长江干流大部分测站的实测洪水系列比较短, 超过分洪控制水位的资料更少, 不宜用于风险分析。为此, 本文采用文献^{①②}, 模拟生成了沙市和城陵矶站 10 000 年汛期 (5 月 - 10 月) 的日平均水位系列。但是, 用于风险分析需要的是瞬时水位, 因此, 必须对逐日平均水位系列进行必要的处理。由于长江流域面积大, 使一日内的水位变化比较平缓, 所以, 可通过对逐日平均水位过程线的线性内插, 求得任意时刻的近似瞬时水位。

(3) 用统计分析方法计算防洪决策风险 现以分析汛期某月某时刻作出的未来 1 d 内分洪或不分洪的决策风险为例, 说明统计分析方法。

为便于计算, 将水位分为 k 级, 分洪控制水位 Z_f 定为从低水到高水第 s 级的下界。首先统计 10 000 年中, 决策时刻的水位 (以下简称为决策现时水位) 为 Z_{di} 的条件下, 未来 1 d 内预报的最高洪水水位落在第 j 级内的次数 $m_{i,j}$, 并记此水位为 $\hat{H}_{1,j}$ 。再根据该时刻未来 1 d 内的实际最高水位 H_1 (由模拟系列求得), 分别统计在各级水位内决策失误的次数 $T_{i,j}$ 。因为样本容量较大, 频率可视为概率, 所以

$$P(H_1 \geq Z_f / Z_{di}, \hat{H}_{1,j} < Z_f) = T_{i,j} / m_{i,j} \quad j = 1, 2, \dots, s-1 \quad (8)$$

$$P(H_1 < Z_f / Z_{di}, \hat{H}_{1,j} \geq Z_f) = T_{i,j} / m_{i,j} \quad j = s, s+1, \dots, k \quad (9)$$

从而, 在决策现时水位为 Z_{di} 的情况下, 根据预报的未来 1 d 内的最高水位是否超过分洪水位而作出的不分洪或分洪的决策总风险 (不考虑预报水位究竟为哪一级水位), 可用下列式 (10) 及式 (11) 求得。

$$P(H_1 \geq Z_f / Z_{di}, \hat{H}_{1,j} < Z_f) = \sum_{j=1}^{s-1} T_{i,j} / \sum_{j=1}^{s-1} m_{i,j} \quad (10)$$

$$P(H_1 < Z_f / Z_{di}, \hat{H}_{1,j} \geq Z_f) = \sum_{j=s}^k T_{i,j} / \sum_{j=s}^k m_{i,j} \quad (11)$$

(4) 计算成果 根据上述方法, 本次计算了沙市和城陵矶 7、8、9 三个月, 预见期分别为 1 d、2 d、3 d 的两类防洪决策风险。因篇幅所限, 表 1 列出了部分类型的风险。表中为便于书写, 将有关符号的写法稍作变动, 以 H_i , FH_i 分别表示第 i 天的实际最高水位和预报最高水位; FH_{ij} 表示第 i 天的预报最高水位落在第 j 级水位区间; $\text{MAXI} (*)$ 表示 $\text{MAX} (*)$ 落在第 j 级水位区间; Z_f 为分洪水位。

表 (1) 中 R1D1, R1D2 的值分别由式 (8) 和 (9) 算得, BR1D1, BR1D2 的值分别由式 (10) 和 (11) 算得。其它代号之意义不难根据表中概率 P 中事件的含意理解。沙市 R1D1 的计算成果列于表 2, 表中 Z_d 为决策现时水位, R 为风险值 (即 R1D1 的值)。沙市分洪控制水位 $Z_f = 45.00$ m。

① 长委水文局, 河海大学, 成都科技大学. 长江三峡多站洪水随机模拟的研究. (“七五”国家重点科技攻关子专题研究报告), 1990.

② 水利部南京水文水资源研究所. 长江防洪系统模拟模型的研究及应用. (“七五”国家重点科技攻关专题研究分报告), 1990, 11.

表 1 决策风险类型 (D = 1, 2 d)
Table 1. Typies of decision risk (D = 1, 2d)

序号	风险 代号	决策风险表达式	风险 代号	决策风险表达式
1	R1D1	$R1D1 = P (H1 \geq Z_f / FH1j < Z_f)$	BR1D1	$BR1D1 = P (H1 \geq Z_f / FH1 < Z_f)$
2	R1D2	$R1D2 = P (H1 < Z_f / FH1j > Z_f)$	BR1D2	$BR1D2 = P (H1 < Z_f / FH1 \geq Z_f)$
3	R2D1	$R2D1 = P (H1 < Z_f \& H2 \geq Z_f / FH1 < Z_f \& FH2j < Z_f)$	BR2D1	$BR2D1 = P (H1 < Z_f \& H2 \geq Z_f / FH1 < Z_f \& FH2 < Z_f)$
4	R2D2	$R2D2 = P (H1 < Z_f \& H2 < Z_f / FH1 < Z_f \& FH2j \geq Z_f)$	BR2D2	$BR2D2 = P (H1 < Z_f \& H2 < Z_f / FH1 < Z_f \& FH2 \geq Z_f)$
5	RD21	$RD21 = P (MAX (H1 , H2) \geq Z_f / MAXj (FH1 , FH2) < Z_f)$	BRD21	$BRD21 = P (MAX (H1 , H2) \geq Z_f / MAX (FH1 , FH2) < Z_f)$
6	RD22	$RD22 = P ((MAX (H1 , H2) < Z_f / MAXj (FH1 , FH2) \geq Z_f)$	BRD22	$BRD22 = P (MAX (H1 , H2) < Z_f / MAX (FH1 , FH2) \geq Z_f)$
7	RD23	$RD23 = P (H1 \geq Z_f / FH1 < Z_f \& FH2j \geq Z_f)$	BRD23	$BRD23 = P (H1 \geq Z_f / FH1 < Z_f \& FH2 \geq Z_f)$

表 2 R1D1 风险表 (R = P (H1 ≥ Z_f / FH1j < Z_f)
Table 2. R1D1 risk values of Shashi

FH1	R	Zd	43.00 - 43.39	43.40 - 43.79	43.80 - 44.19	44.20 - 44.59	44.60 - 44.99
43.00 - 43.39			1)	1)	0.003	0.031	0.091
43.40 - 43.79				1)	0.009	0.042	0.346
43.80 - 44.19					0.025	0.079	0.387
44.20 - 44.59						0.144	0.410
44.60 - 44.99							0.475

注：1) 表示根据现有样本容量，统计试验结果为 0，说明其概率很小。

从表 2 看出决策现时水位 Z_d 越高（越接近分洪控制水位 Z_f ），由于预报水位低于 Z_f 而作不分洪抉择时，所承担的决策失误风险越大，这个结果与人们的实践经验是一致的。

2 结 语

根据洪水预报作出防洪决策，对其进行风险分析，在基本资料正确的情况下，实质上是对预报模型的可靠性分析。为了减少决策风险，必须尽力提高预报模型精度。本文主要是对风险估算方法进行初步探讨，本次风险分析成果是相应于这次所建的水位预报方案，如果采用其它预报方案，则需重新进行风险估算。

参考文献：

[1] 甘仞初. 动态数据的统计分析[M]. 北京 :北京理工大学出版社 , 1991.
[2] 丁 晶, 邓育仁. 随机水文学[M]. 成都 :成都科技大学出版社 , 1988.

Study on the Risk Analysis Method of Flood Control Decision Based on Water Stage Forecast

HUANG Zhen-ping¹, SHEN Fu-xin², ZHU Yuan-sheng¹, WANG Dao-xi¹

(1. Hohai University, Nanjing 210098, China; 2. Nanjing Institute of Hydrology
and Water Resources, Nanjing 210024, China)

Abstract: The risk analysis method based on water stage forecast was studied. In addition, the quantitative descriptions on various risks of flood-control plans about whether to use the flood diversion areas or flood storage areas in the flood control system of the Yangtze River reach between Three Gorges and Loushan were provided.

Key words: flood-control decision; risk analysis; decision risk

《水文》杂志征订启事

《水文》杂志是由水利部主管,水利部水文局、水利信息中心主办,中国水利水电出版社出版,国内外公开发行的我国水文水资源专业的技术性刊物,系我国地球物理学类和水利工程类核心期刊、中国科学引文数据库来源期刊、中国学术期刊综合评价数据库来源期刊、中国期刊网和《中国学术期刊》(光盘版)全文收录期刊。

刊登内容:水文水资源基础理论研究,水文站网规划设计,水文测验技术,水文水资源处理与服务,水文水资源分析计算,水文情报预报,水资源调查评价,水环境监测与水质预测,新技术在水文水资源方面的应用,测验仪器设备的研制,国内外水文水资源科技进步综述、评述以及有关信息和动态等。

2002年,《水文》双月刊将全面改版,封面为铜版纸彩色印刷,开本采用国际标准开本,页码和定价不变。2002年的报刊征订工作即将开始,请国内读者速到当地邮局办理订阅手续,邮发代号:2-430,每册定价5元,全年共30元;国外读者请与中国国际图书贸易总公司联系订阅(地址:北京399信箱,邮政编码:100044),本刊代号:BM511。漏订者可直接与本刊编辑部联系邮购(每册需加收1元邮寄费)。

编辑部通讯地址:北京市白广路二条2号;邮政编码:100053;电话:(010)63203599,63203486;传真:(010)63203530;电子信箱:shuiwen@263.net。